

# abende

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR/SP - IPEN

DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA DA RADIAÇÃO IONIZANTE  
DE FILMES DOSIMÉTRICOS AGFA-GEVAERT

Wanda C. Las

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES - CNEN/SP

Trabalho apresentado no VI Seminário Nacional  
de Ensaio Não-Destrutivos, Belo Horizonte ,  
setembro, 1985.



ABENDE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR/SP - IPEN

As informações e opiniões contidas neste trabalho  
são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

SINOPSE

Filmes radiográficos da Agfa-Gevaert utilizados em dosimetria pessoal são avaliados no IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-CNEN/SP) utilizando-se uma curva de calibração obtida com filmes expostos à radiação gama do  $^{60}\text{Co}$  (1250 keV). Como o filme apresenta uma forte dependência energética, torna-se necessário determinar a energia a que o filme foi exposto para se proceder a uma correta avaliação da dose. Curvas de dependência energética são obtidas para duas condições filtrantes do dosímetro, e os resultados são aplicados na determinação de dose de dois dosímetros, um pessoal e outro ambiental. Os fatores de correção são 3.7 e 2.5, respectivamente, para esses dois dosímetros.

## 1. INTRODUÇÃO

A dosimetria pessoal do IPEN-CNEN/SP e de outras entidades é feita no IPEN com filmes radiográficos da Agfa-Gevaert. Como existe uma forte dependência energética para esse tipo de filme, estudou-se a resposta dos filmes em função da energia e obteve-se um fator de correção para dose. Esse fator é importante quando se trata de energias em torno de 100 keV, pois nessa região a resposta do filme (sob o filtro de Pb) é cerca de 3 vezes maior do que para a energia do  $^{60}\text{Co}$  (1250 keV), que é a energia de referência para a determinação do equivalente de dose. A curva de calibração para o  $^{60}\text{Co}$  fornece então um valor superestimado do equivalente de dose, que apesar de estar a favor da segurança, pode ultrapassar o limite máximo permissível, desnecessariamente: Nesse trabalho, o equivalente de dose será referido simplesmente como dose.

## 2. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO

### 2.1. Características do dosímetro

O filme radiográfico é constituído de um invólucro plastificado para evitar a exposição das películas sensíveis à umidade. São duas películas de sensibilidades diferentes: de baixo alcance, sensível no intervalo de  $2.58 \times 10^{-6}$  C/kg (0.01 R) a  $1.29 \times 10^{-3}$  C/kg (5 R), ou em unidades de dose: 96  $\mu\text{Sv}$  a  $4.8 \times 10^4 \mu\text{Sv}$ , respectivamente; e de alto alcance, sensível no intervalo de  $2.58 \times 10^{-4}$  C/kg (1 R) a  $2.58 \times 10^{-1}$  C/kg ( $10^3$ R), ou de  $9.6 \times 10^3 \mu\text{Sv}$  a  $9.6 \times 10^6 \mu\text{Sv}$ , em unidades de dose.

A emulsão fotográfica usada em monitoração pessoal contém grãos de brometo de prata que são ativados quando da absorção da radiação ionizante (1). Nesse processo, alguns átomos dos íons de prata no centro de cada grão se transformam em prata metálica formando uma imagem latente.

Durante a revelação o grão inteiro será convertido em prata metálica, por redução química. Essa redução química ocorre, na verdade, tanto em grãos ativados como nos não ativados pela radiação, mas os átomos de prata da imagem latente agem como catalisadores da reação permitindo que os cristais de brometo de prata expostos à radiação se convertam à prata metálica muito mais rapidamente do que os não expostos à radiação. Como qualquer reação química, a revelação depende da temperatura e do tempo total de revelação (2), bem como da concentração das soluções reveladora, paralisadora e fixadora, a eficiência das quais é controlada pela acidez da solução, expressa pelo pH.

Na figura 1 está representado o enegrecimento da película de baixo alcance irradiada com  $4.5 \times 10^{-4}$  C/kg (1.74 R) da radiação gama de  $^{60}\text{Co}$ , em termos de densidade óptica (D.O.) em função do tempo de revelação, para tres valores de temperatura da solução reveladora. Para 18.7°C e 20.5°C, observa-se que

existe um tempo ótimo de revelação em torno de 5 a 6 min., onde ocorre a saturação da densidade óptica. Observa-se também que aumentando a temperatura, o enegrecimento aumenta. O mesmo comportamento é observado para qualquer um dos filtros usados. Na figura 1 são mostradas as curvas para os filtros de Pb e Cd. Os filtros serão discutidos mais adiante.

Observou-se, portanto, que as condições de tempo e temperatura de revelação estão dentro das especificações fornecidas pelo fabricante (2), conforme visto na figura 1.

O filme fotográfico possui algumas características indesejáveis, como o desvanecimento, ou seja, a perda de enegrecimento com o tempo após a irradiação. Isso é mostrado na figura 1 para a curva correspondente a 22°C, que foi obtida revelando-se os filmes 7 dias após a irradiação, enquanto que as outras curvas foram obtidas com 2 dias de intervalo entre irradiação e revelação. Se não houvesse desvanecimento, esperar-se-ia que a curva para 22°C estivesse acima das outras duas, mostrando assim haver um grande desvanecimento em um intervalo de 5 dias. Para contornar esse problema, a curva de calibração é revelada uma semana após as exposições, onde o desvanecimento corresponderia à média do desvanecimento de um filme dosimétrico usado por 30 dias.

O filme fotográfico é usado dentro de um suporte, constituído de uma caixa de polietileno com 3.8 cm de largura por 6 cm de comprimento e 0.8 cm de espessura. No seu interior é colocado o filme radiográfico entre filtros de Pb, Cd e Cu. A espessura ideal desses filtros foi determinada como sendo de 0,5 mm quando somada à espessura do polietileno, aproximadamente 2.2 mm, de modo que a dependência energética ficasse reduzida a 15% no intervalo de 300 keV a 1250 keV. A dose medida sob o filtro de Pb corresponde à dose profunda e sob o polietileno, à dose no cristalino. A janela aberta é usada para detectar a radiação beta, o filtro de Cu, para determinação de energia e, o de Cd, para detectar radiação de nêutrons.

## 2.2. Película de alto alcance

A figura 2 mostra a dependência energética da densidade óptica medida sob os filtros de Cu e de Pb, para as películas de baixo e alto alcance. Observa-se que para o filtro de Pb existe um fator de 3 entre as energias de 80 - 100 keV e a do  $^{60}\text{Co}$ , enquanto que para o Cu, esse fator chega a ser de 15 entre 65 keV e  $^{60}\text{Co}$ . Portanto, para energias baixas, é preciso usar um fator de correção. Para determiná-lo, foram levantadas curvas de densidade óptica da película de alto alcance em função da exposição, para diversas energias, na Fundação Antonio Prudente (Hospital do Câncer) em São Paulo (3). Os resultados são mostrados na figura 3. Para as energias efetivas de 28,55,70 e 155 keV de radiação X, foi feita apenas uma exposição (com dois filmes); para 96 keV foram

feitas tres exposições diferentes e para  $^{60}\text{Co}$  (1250 keV), variou-se a exposição no intervalo de  $3.10 \times 10^{-4}$  C/kg (1.2 R) a  $2.58 \times 10^{-2}$  C/kg (100 R). Foi feito um ajuste da curva de densidade óptica em função da exposição para a energia do  $^{60}\text{Co}$ , usando-se a expressão:

$$\text{DOSE} = \text{EXP} [A_0 + A_1 \ln \text{D.O.} + A_2 (\ln \text{D.O.})^2 + A_3 (\ln \text{D.O.})^3],$$

desenvolvida no IPEN, onde a dose é proporcional à exposição.

Extrapolando a parte superior da curva para as outras energias, foi possível determinar os valores das densidades ópticas correspondentes a  $3.10 \times 10^{-3}$  C/kg (12R). O mesmo foi feito para o filtro de Cu (fig.4), e os valores de densidade óptica desses dois filtros foi graficada em função da energia (fig.2). A densidade óptica sob o filtro de Pb foi representada em função da densidade óptica sob o filtro de Cu para as várias energias na figura 5.

Tomando como exemplo um dosímetro ambiental do Hospital das Clínicas de São Paulo, colocado na proximidade de um aparelho de raios-X Futuralix, com tensão entre 80 e 130 kV e corrente máxima de 150 mA, a 0,5m da fonte secundária, obteve-se após 30 dias de uso do dosímetro, as seguintes leituras, já descontada a leitura de um filme não irradiado:

$$\text{D.O.}_{\text{Cu}} = 2,46 \quad \text{e} \quad \text{D.O.}_{\text{Pb}} = 0,84$$

Recorrendo-se às curvas da figura 5, determina-se a faixa de energia, que neste caso é 96 keV. Conhecendo-se o valor da energia, procura-se na figura 3 o valor de exposição correspondente à  $\text{D.O.}_{\text{Pb}} = 0.84$ , que é  $3.10 \times 10^{-3}$  C/kg (12 R). Para a energia do  $^{60}\text{Co}$ , a exposição seria de aproximadamente  $7.74 \times 10^{-3}$  C/kg (30 R). O fator de correção é então  $\frac{7.74}{3.10} = 2.5$ . A dose havia sido determinada com uma curva de calibração da radiação de  $^{60}\text{Co}$ , obtida quando da avaliação do referido dosímetro, resultando em 247430  $\mu\text{Sv}$ . Aplicando-se o fator de correção, a dose real, para a energia de 96 keV é  $247430 : 2,5 = 98972 \mu\text{Sv}$ .

### 2.3. Película de baixo alcance

Os resultados acima foram obtidos para a película de alto alcance, mas quando dosímetros pessoais são avaliados, somente a película de baixo alcance é que responde à radiação, pois exposições baixas estão envolvidas. Nesse caso, é necessário obter-se curvas de dependência energética para a película de baixo alcance. Isso foi feito durante uma intercomparação entre o IPEN e o IRD (Instituto de Radioproteção e Dosimetria - CNEN/RJ), onde o IRD irradiou os filmes com radiação de diversas energias e o IPEN avaliou os resultados, que

são mostrados na figura 2b, para  $7.74 \times 10^{-5} \text{C/kg}$  (0.3 R). Eles diferem dos obtidos no Hospital do Câncer (fig.2a) provavelmente por se tratar de películas diferentes, exposições diferentes e máquinas de raios-X diferentes. Desses dados e de outras exposições que foram feitas, obtiveram-se as retas da figura 6 que relacionam as densidades ópticas sob os filtros de Pb e Cu para as diversas energias efetivas, e as retas da figura 7 que relacionam a densidade óptica sob o filtro de Pb e a exposição, para as várias energias. Observa-se que a densidade óptica em função da exposição foi representada em escala linear na figura 7, para a película de baixo alcance, enquanto que na figura 3, para a película de alto alcance, o gráfico foi feito em escala semi-logarítmica.

Usando como exemplo um dosímetro pessoal do Serviço Social da Indústria, SESI-SP com leituras de densidade óptica líquidas:

$$D.O._{Cu} = 0,89 \quad ; \quad D.O._{Pb} = 0,56 \quad ; \quad D.O._{Polietileno} = 1,38 \quad ,$$

procura-se na figura 6 a que energia esses valores correspondem, obtendo-se entre 122 keV e 172 keV. Mas como nesse intervalo de energia a densidade óptica sob o polietileno é no máximo 13% maior do que sob o filtro de Cu, e os dados acima indicam que essa relação é de 55%, é bem mais provável que a energia efetiva seja menor do que 70 keV. Observa-se na figura 2b que a relação  $D.O._{polietileno} / D.O._{Cu}$  é aproximadamente igual a um para energias maiores que 70 keV, e maior do que um para energias menores, onde a parte tracejada é uma extrapolação, pois ocorre saturação do densitômetro. De fato, sabe-se que o dosímetro foi utilizado na operação de uma máquina de raios-X entre 70 e 80keV.

Supondo que a energia seja então 76 keV, a densidade óptica na figura 7 corresponde à exposição de  $2.5 \times 10^{-5} \text{C/kg}$  (9,8 mR). A mesma densidade óptica corresponde à exposição de  $9.2 \times 10^{-5} \text{C/kg}$  (356 mR) para a energia do  $^{60}\text{Co}$ . O fator de correção é:

$$\frac{9.2}{2.5} = 3.7$$

A dose que havia sido determinada com uma curva de calibração do  $^{60}\text{Co}$  foi de 4002  $\mu\text{Sv}$ . Usando o fator de correção, a dose real é:

$$\frac{4002}{3.7} = 1081 \mu\text{Sv},$$

abaixo do limite permissível mensal que é 4000  $\mu\text{Sv}$ .

Admite-se um erro de cerca de 20% na determinação da dose devido ao fato de que as retas na figura 6 foram traçadas apenas por um ponto experimental, considerando que o comportamento é linear, à semelhança da reta (e) para o  $^{60}\text{Co}$ . A mesma incerteza está associada à determinação da figura 2a, onde foram utilizados dados das figuras 3 e 4 extrapolados para a exposição de  $3.10 \times 10^{-3} \text{C/kg}$

(12 R).

### 3. CONCLUSÕES

3.1. As condições de tempo e temperatura de revelação usadas no laboratório estão dentro das especificações do fabricante.

3.2. Utilizando-se as curvas de dependência energética para as películas de baixo e alto alcance é possível determinar a dose real de dois dosímetros ambiental e pessoal, onde o fator de correção foi respectivamente, 2.5 e 3.7. No caso do dosímetro pessoal, evita-se atribuir uma dose acima do máximo permitido, fornecendo-se o valor da dose real.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Kozlov, V.F. " Photographic Dosimetry of Ionizing Radiations", Jerusalem , S. Monson, 1966, pág. 1.
- (2) Structurix, Películas y Papel para Radiografias Industriales, 4 , Tratamiento, Agfa-Gevaert N.V., B-2510, Mortsel, Bélgica (1980).
- (3) W.C.Las, " Correção para a energia da radiação X, da dose avaliada com filmes dosimétricos na energia do  $^{60}\text{Co}$ ", Supl. Ciência e Cultura, São Paulo , v.36, n.7, pág.279, 1984.

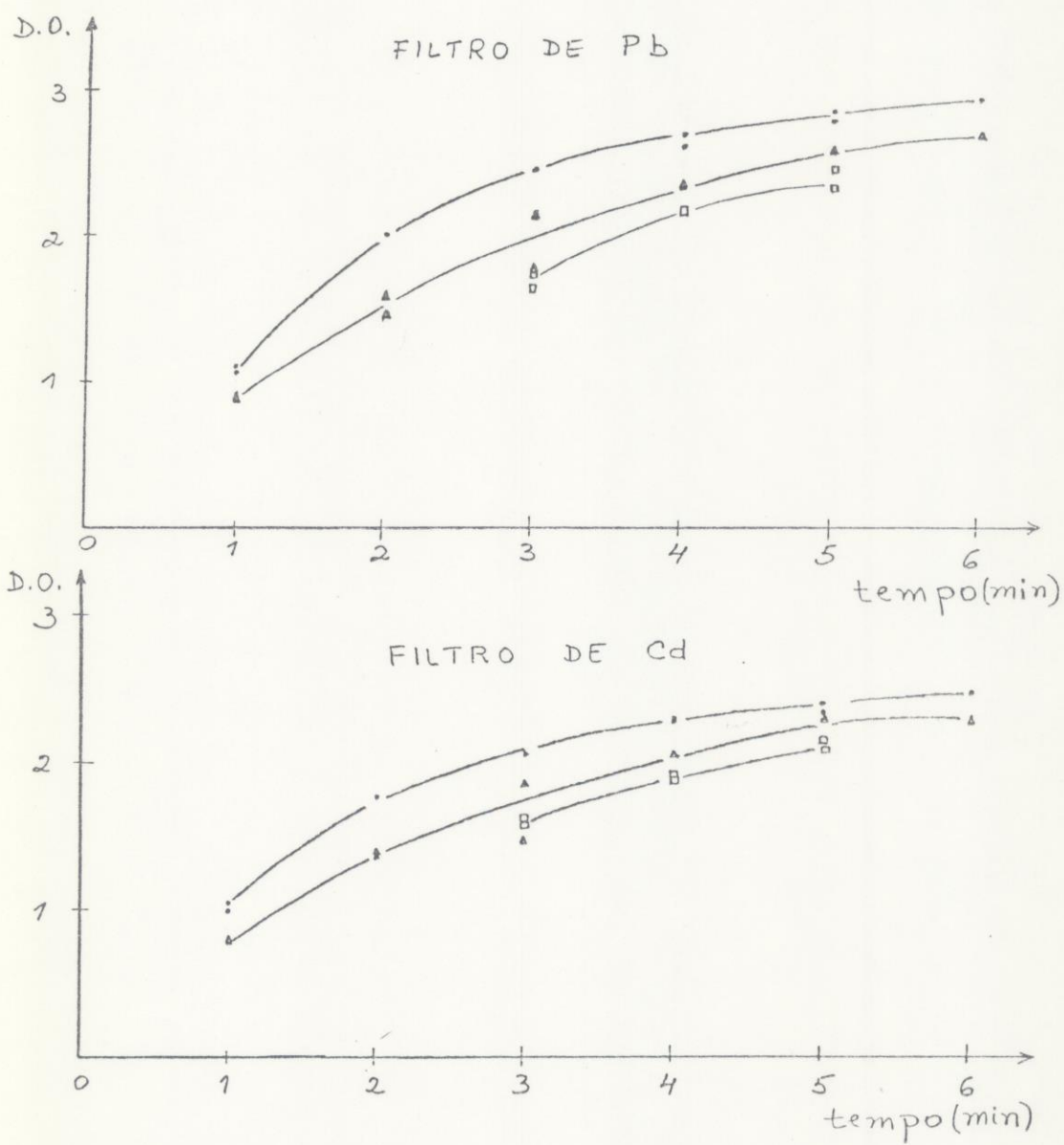


Fig. 1 - Densidade Óptica em função do tempo de revelação para as temperaturas:  
 (▲) 18.7°C; (•) 20.5°C; (◻) 22°C. Intervalo de tempo entre irradiação e revelação : (▲) e (•) 2 dias;  
 (◻) 7 dias.



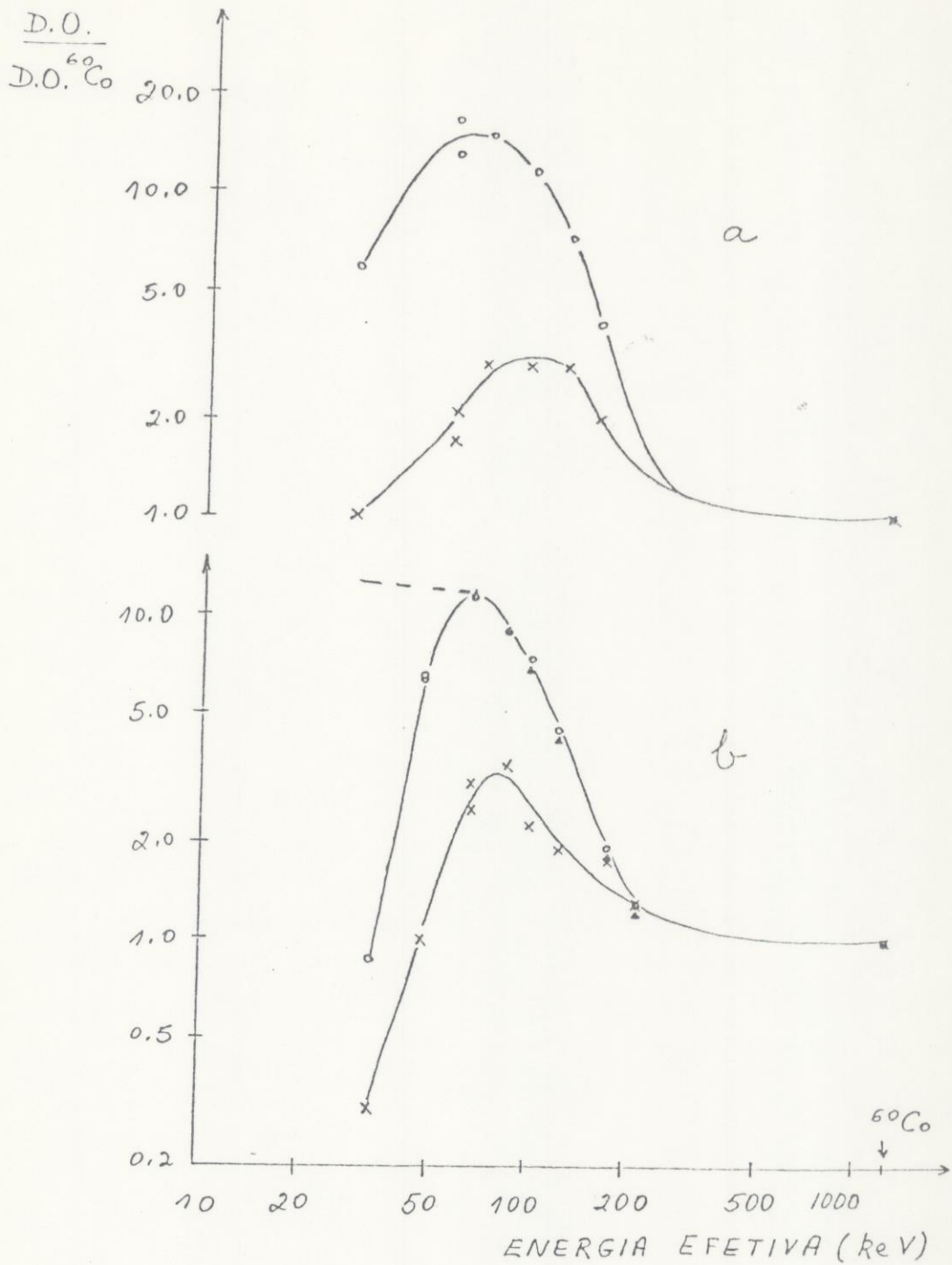


Fig. 2 - Dependência energética relativa de :

a) película de alto alcance,  $3,10 \times 10^{-3} \text{C/kg}$  ( 12 R )

b) película de baixo alcance,  $7,74 \times 10^{-5} \text{C/kg}$  ( 0.3 R )

( $\circ$ ) Filtro de Cu ; ( $\times$ ) Filtro de Pb; ( $\blacktriangle$ ) Polietileno



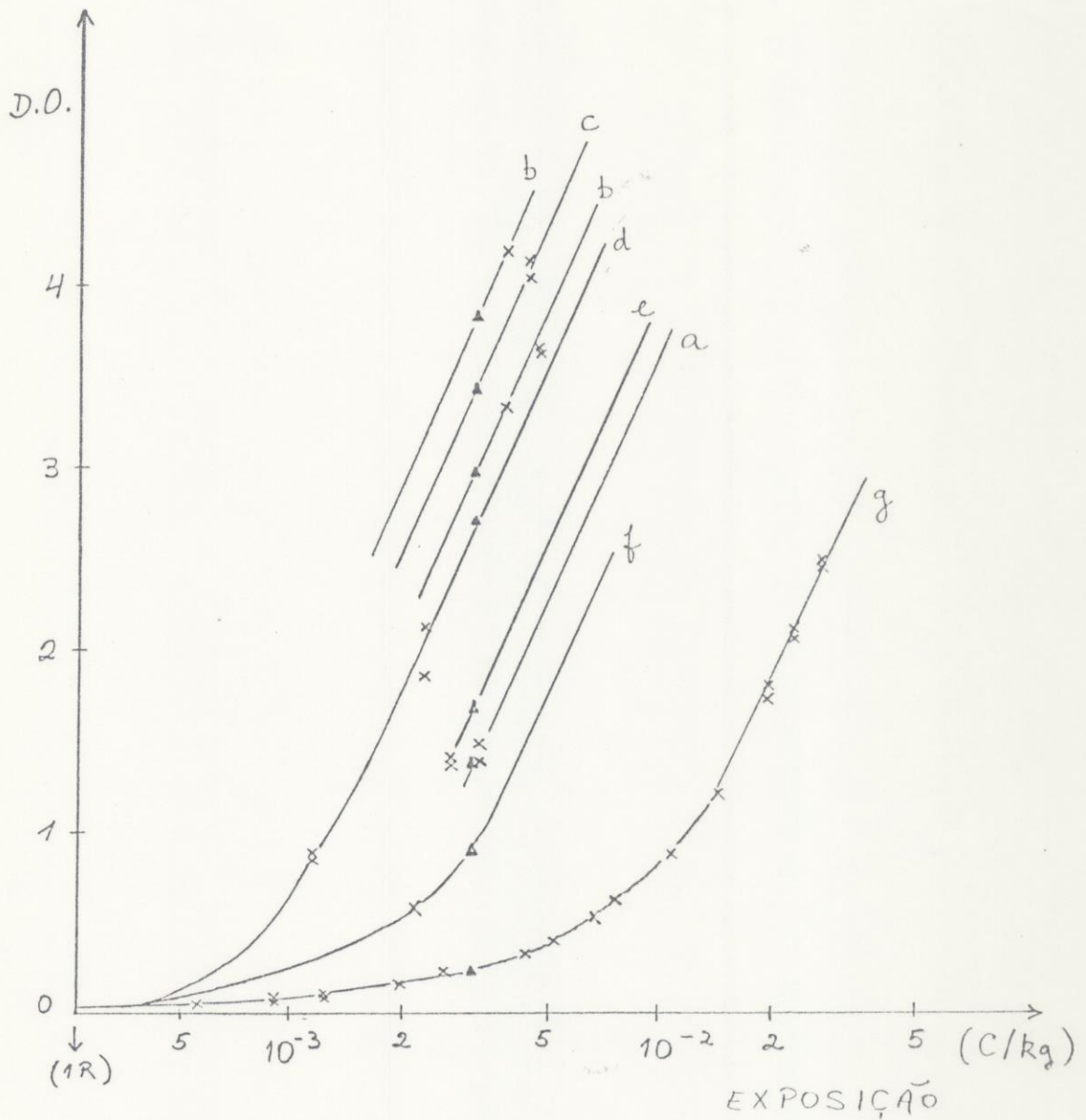


Fig.4 - Densidade Óptica em função da exposição para a película de alto alcance sob o filtro de Cu, para as energias efetivas seguintes:

- a) 28 keV; b) 55keV ; c) 70 keV; d) 96 keV;  
 e) 126 keV; f) 155 keV; g) 1250 keV (<sup>60</sup>Co)

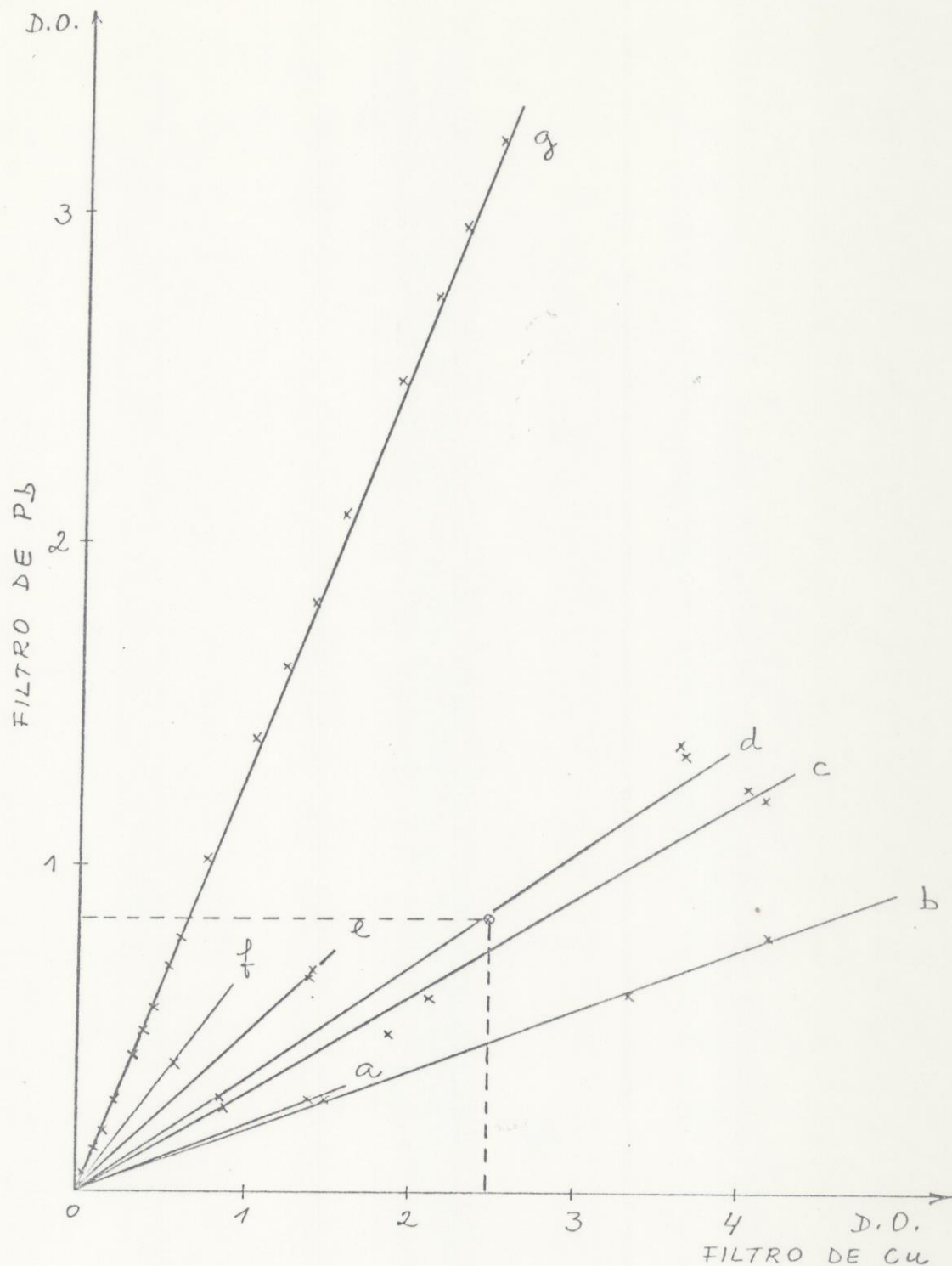


Fig. 5 - Densidade óptica sob o filtro de Pb em função da densidade óptica sob o filtro de Cu para a película de alto alcance, para as energias efetivas :

a) 28 KeV; b) 55 keV; c) 70 keV; d) 96 keV; e) 126 keV  
 f) 155 keV; g) 1250 keV ( $^{60}\text{Co}$ )

(⊗) - Dosímetro próximo ao aparelho de raios-X do Hospital das Clínicas - USP.

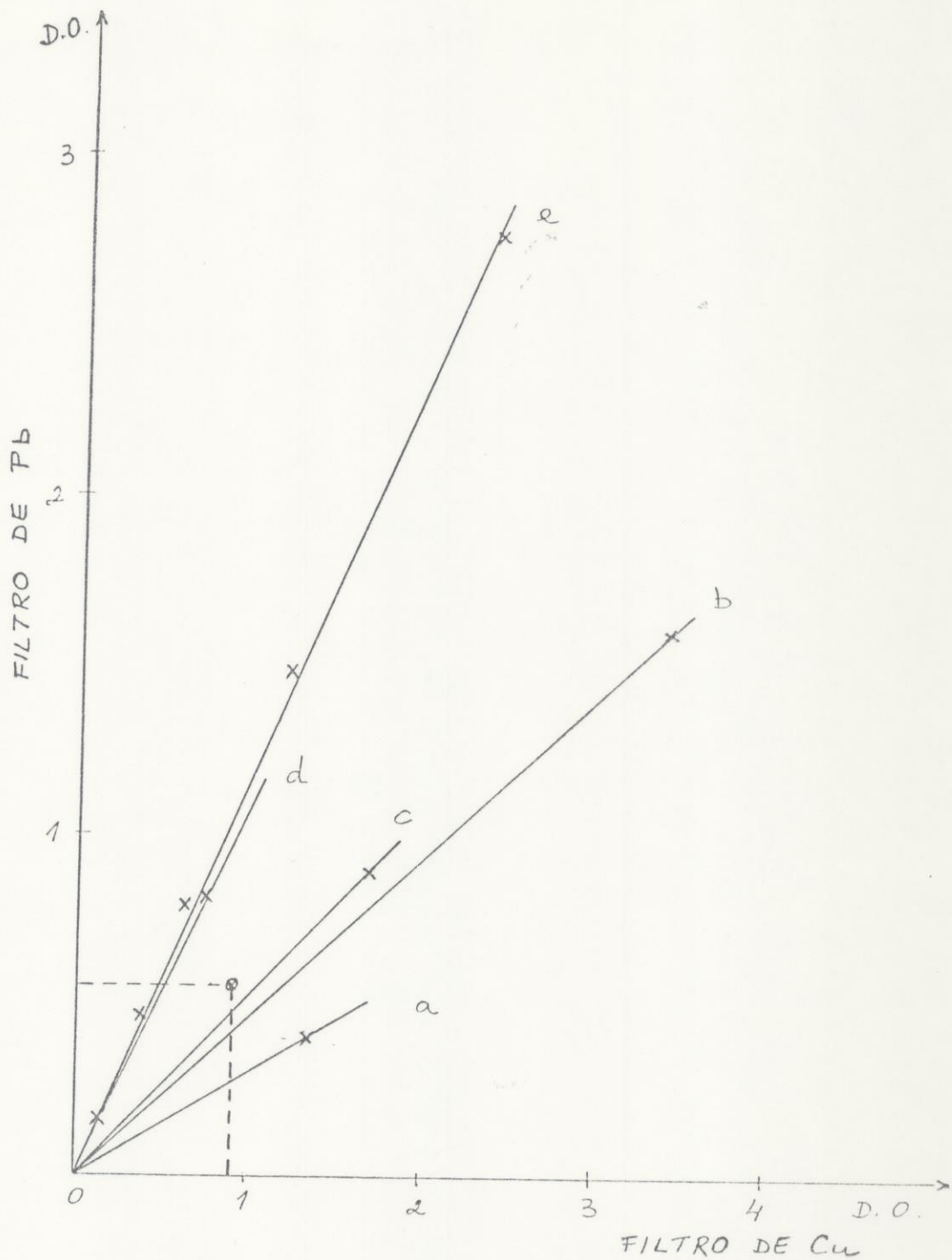


Fig. 6 - Densidade óptica sob o filtro de Pb em função da densidade óptica sob o filtro de Cu para a película de baixo alcance, para as energias efetivas:

a) 76 keV; b) 84 keV; c) 122 keV; d) 172 keV; e) 1250 keV ( $^{60}\text{Co}$ )

(⊗) - Dosímetro pessoal do SESI

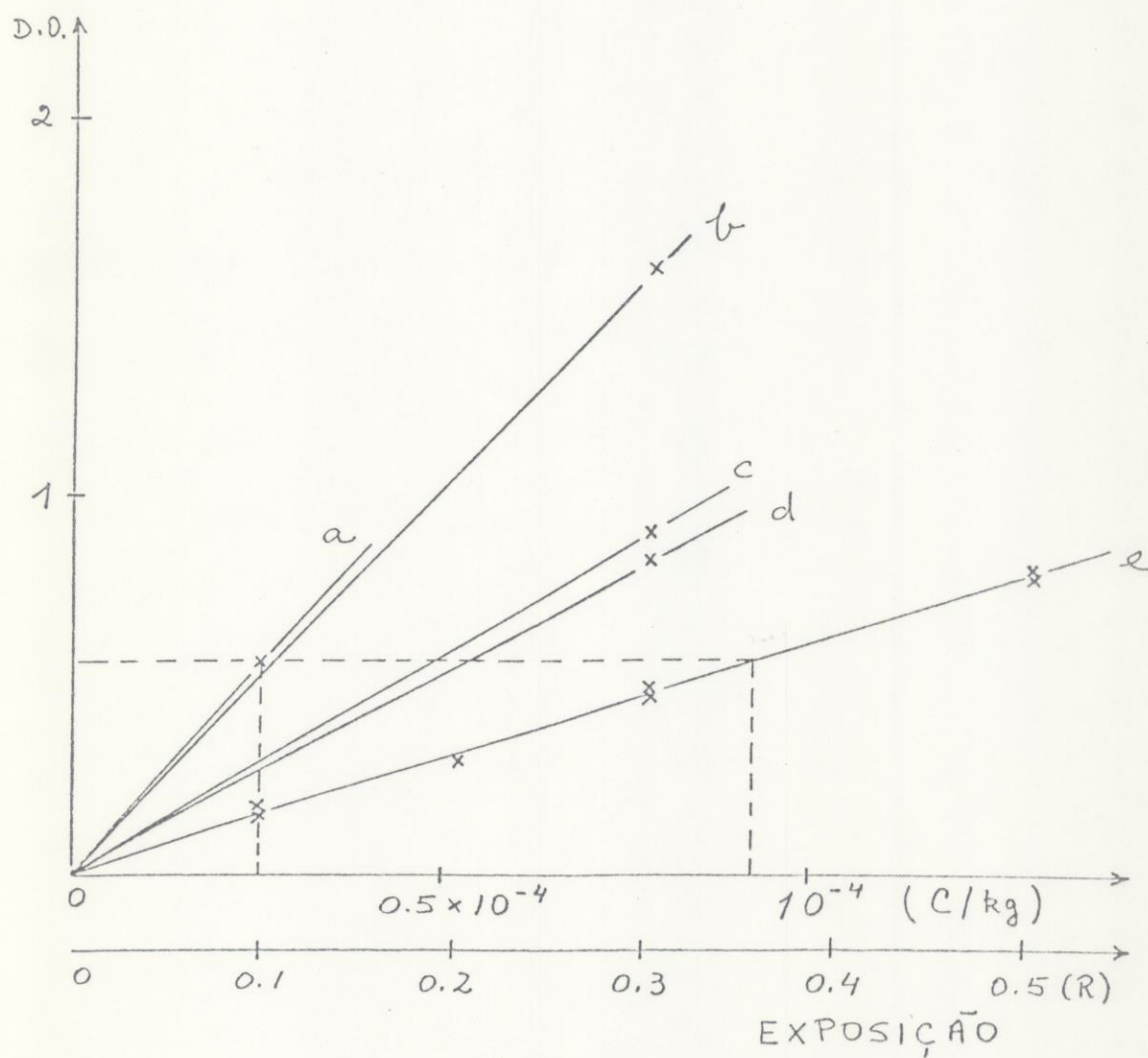


Fig. 7 - Densidade Óptica em função da exposição para a película de baixo alcance sob o filtro de Pb, para as seguintes energias efetivas:  
 a) 76 keV; b) 84 keV; c) 122 keV; d) 172 keV;  
 e) 1250 keV ( $^{60}\text{Co}$ ).

W.C.Las

Dependência energética da radiação ionizante de filmes dosimétricos Agfa-Gevaert.

Energy dependence on ionizing radiation of Agfa-Gevaert dosimetric films, Anais do VI Seminário Nacional de Ensaios Não Destrutivos de 2 a 4 Set. 1985-Belo Horizonte- Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos-ABENDE-São Paulo

/Agfa-Gevaert radiographic films utilized in personnel dosimetry are evaluated at IPEN(Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-CNEN/SP) by using a calibration curve obtained with films exposed to  $^{60}\text{Co}$  (1250 keV) gamma radiation. Since the film presents a strong energy dependence, it is necessary to determine the energy to which the film was exposed in order to make a correct dose evaluation. Energy dependence curves are obtained for two dosimeter filtered conditions and the results are applied in the dose determination of two dosimeters, one individual and the other environmental. The correction factors are 3.7 and 2.5, respectively, for these two dosimeters.